

SKRIPSI

STUDI GENETIK DAN POTENSI PEMANFAATAN MINERAL ZEOLIT DAERAH MONCONGLOE, KABUPATEN MAROS, PROVINSI SULAWESI SELATAN BERDASARKAN KARAKTERISTIK MINERALOGI DAN KIMIANYA

Disusun dan diajukan oleh:

JUAN DANIEL TAMBUNAN
D111 19 1005



PROGRAM STUDI SARJANA TEKNIK PERTAMBANGAN
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS HASANUDDIN
GOWA
2024

LEMBAR PENGESAHAN SKRIPSI

STUDI GENETIK DAN POTENSI PEMANFAATAN MINERAL ZEOLIT DAERAH MONCONGLOE, KABUPATEN MAROS, PROVINSI SULAWESI SELATAN BERDASARKAN KARAKTERISTIK MINERALOGI DAN KIMIANYA

Disusun dan diajukan oleh

Juan Daniel Tambunan
D111191005

Telah dipertahankan di hadapan Panitia Ujian yang dibentuk dalam rangka Penyelesaian
Studi Program Sarjana Program Studi Teknik Pertambangan
Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin
Pada tanggal 09 Agustus 2024
dan dinyatakan telah memenuhi syarat kelulusan

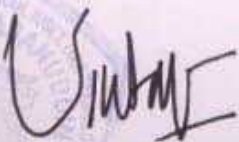
Menyetujui,

Pembimbing,



Dr. Ir. Irzal Nur, M.T.
NIP 19660409 199703 1 002

Ketua Program Studi,



Dr. Ir. Aryanti Virtanti Anas, S.T., M.T.
NIP 19701005 200801 2 026



PERNYATAAN KEASLIAN

Yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama : Juan Daniel Tambunan
NIM : D111 19 1005
Program Studi : Teknik Pertambangan
Jenjang : Sarjana (S1)

Menyatakan dengan ini bahwa karya tulisan saya berjudul:

Studi Genetik dan Potensi Pemanfaatan Mineral Zeolit Daerah Moncongloe,
Kabupaten Maros, Provinsi Sulawesi Selatan Berdasarkan Karakteristik
Mineralogi dan Kimianya

Adalah karya tulisan saya sendiri dan bukan merupakan pengambilan alihan tulisan orang lain dan bahwa skripsi yang saya tulis ini benar-benar merupakan hasil karya saya sendiri.

Semua informasi yang ditulis dalam skripsi yang berasal dari penulis lain telah diberi penghargaan, yakni dengan mengutip sumber dan tahun penerbitannya. Oleh karena itu semua tulisan dalam skripsi ini sepenuhnya menjadi tanggung jawab penulis. Apabila ada pihak manapun yang merasa ada kesamaan judul dan atau hasil temuan dalam skripsi ini, maka penulis siap untuk diklarifikasi dan mempertanggungjawabkan segala resiko.

Segala data dan informasi yang diperoleh selama proses pembuatan skripsi, yang akan dipublikasi oleh Penulis di masa depan harus mendapat persetujuan dari Dosen Pembimbing.

Apabila dikemudian hari terbukti atau dapat dibuktikan bahwa sebagian atau keseluruhan isi skripsi ini hasil karya orang lain, maka saya bersedia menerima sanksi atas perbuatan tersebut.

Gowa, 09 Agustus 2024

Yang Menyatakan



Juan Daniel Tambunan



Optimized using
trial version
www.balesio.com

ABSTRAK

JUAN DANIEL TAMBUNAN. *Studi Genetik dan Potensi Pemanfaatan Mineral Zeolit Daerah Moncongloe, Kabupaten Maros, Provinsi Sulawesi Selatan Berdasarkan Karakteristik Mineralogi dan Kimianya* (dibimbing oleh Dr. Ir. Irzal Nur, M.T.)

Zeolit alam adalah mineral yang merupakan kelompok berkerangka alumino-silikat yang terbentuk di alam dan memiliki kapasitas tukar kation dan adsorpsi tinggi serta bersifat hidrous dan dehidrasi dengan rumus empiris $M^{2/n} Al_2O_3 \cdot x(SiO_2) \cdot yH_2O$. Di Kecamatan Moncongloe, Kabupaten Maros, Provinsi Sulawesi Selatan terdapat endapan zeolit yang tersingkap akibat adanya penambangan oleh masyarakat. Singkapan mineral zeolit ini berada pada anggota Formasi Camba. Tujuan dari penelitian ini yaitu melakukan analisis karakteristik mineralogi dan kimia, menginterpretasi pembentukan (genesis), mengidentifikasi jenis, serta memberikan rekomendasi potensi pemanfaatan endapan zeolit di daerah penelitian. Metode penelitian yang dilakukan adalah *systematic and channel sampling*, analisis laboratorium yang meliputi analisis mineralogi (petrografi dan XRD) serta analisis kimia (XRF, ICP-OES, dan ICP-MS). Hasil analisis mineralogi menunjukkan hadirnya zeolit jenis *phillipsite* yang merupakan hasil alterasi fenokris K-felspar penyusun batuan riolit porfiri dan tufa hijau. Terdapat pula mineral smektit yang merupakan mineral alterasi dari massa dasar kristalin dan gelas vulkanik. Berdasarkan hasil analisis kimia, diketahui bahwa jenis zeolit di daerah penelitian adalah *phillipsite-K* (kaya kalium). Berdasarkan hasil identifikasi dibawah mikroskop yang dipadukan dengan karakteristik kimia pada sampel-sampel batuan yang mengandung zeolit, maka diinterpretasi bahwa zeolit di daerah penelitian terbentuk dari proses alterasi hidrotermal. Proses alterasi hidrotermal ini terjadi pada pasca Miosen, yaitu setelah terbentuknya batuan Formasi Camba pada lingkungan laut. Zeolit tipe *phillipsite* dapat dimanfaatkan sebagai: absorpsi timbal, penukar kation, absorpsi *paraquat*, absorpsi zat radioaktif seperti *thorium*, sebagai katalis, pengekstrak kalium dari air laut, terapi kanker kolorektal, suplemen makanan untuk hewan dan bahan baku pembuatan keramik.

Kata Kunci: Zeolit, *Phillipsite*, Genesis, Alterasi, Pemanfaatan.



ABSTRACT

JUAN DANIEL TAMBUNAN. *Genetic and Productivity Study Of Zeolite Minerals In Moncongloe Region, Maros District, South Sulawesi Province Based On The Mineralogical and Chemical Characteristics (supervised by Dr. Ir. Irzal Nur, M.T.)*

Natural zeolite is a mineral that is an aluminosilicate framework group formed in nature has a high cation exchange and adsorption capacity and is hydrous and dehydrated with the empirical formula $M_{2/n}Al_2O_3 \cdot x(SiO_2) \cdot yH_2O$. In Moncongloe Sub-district, Maros Regency, South Sulawesi Province, there are zeolite deposits that are exposed due to mining by the community. This zeolite mineral outcrop is in the Camba Formation member. The purpose of this study is to analyze mineralogical and chemical characteristics, interpret the formation (genesis), identify types, and provide recommendations for the potential use of zeolite deposits in the research area. The research methods used were systematic and channel sampling, laboratory analysis including mineralogical analysis (petrography and XRD) and chemical analysis (XRF, ICP-OES, and ICP-MS). The results of mineralogical analysis showed the presence of phillipsite type zeolite which is the result of alteration of K-feldspar phenocrysts constituent of porphyry rhyolite and green tuff. There are also smectite minerals which are alteration minerals from crystalline base masses and volcanic glasses. Based on the results of the chemical analysis, it is known that the type of zeolite in the study area is phillipsite-K (potassium-rich). Based on the identification results under a microscope combined with the chemical characteristics of rock samples containing zeolites, it is interpreted that zeolites in the study area are formed from hydrothermal alteration processes. This hydrothermal alteration process occurred in the post-Miocene, which is after the formation of Camba Formation rocks in a marine environment. Phillipsite-type zeolites can be utilized as lead absorption, cation exchanger, paraquat absorption, absorption of radioactive substances such as thorium, as catalysts, potassium extractors from seawater, colorectal cancer therapy, food supplements for animals and raw materials for making ceramics.

Keywords: Zeolite, Phillipsite, Genesis, Alteration, Utilization.



DAFTAR ISI

SKRIPSI.....	i
LEMBAR PENGESAHAN SKRIPSI.....	i
PERNYATAAN KEASLIAN.....	ii
ABSTRAK	iii
<i>ABSTRACT</i>	iv
DAFTAR ISI.....	v
DAFTAR GAMBAR	vi
DAFTAR TABEL.....	vii
DAFTAR SINGKATAN DAN ARTI SIMBOL	viii
DAFTAR LAMPIRAN.....	ix
KATA PENGANTAR	x
BAB I PENDAHULUAN.....	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	2
1.3 Tujuan Penelitian	3
1.4 Manfaat Penelitian	3
1.5 Ruang Lingkup.....	3
BAB II TINJAUAN PUSTAKA.....	4
2.1 Pengertian Zeolit	4
2.2 Pembentukan Mineral Zeolit.....	5
2.3 Jenis-Jenis Zeolit.....	9
2.4 Pemanfaatan Zeolit	11
BAB III METODE PENELITIAN.....	14
3.1 Lokasi Penelitian.....	14
3.2 Benda Uji dan Alat.....	14
3.3 Pekerjaan Lapangan	15
3.4 Pekerjaan Laboratorium.....	17
3.5 Pengolahan Data	22
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN	24
4.1 Litologi Singkapan.....	24
4.2 Karakteristik Mineralogi	26
4.3 Karakteristik Kimia.....	34
4.4 Jenis dan Genesis Endapan Zeolit.....	38
4.5 Rekomendasi Potensi Pemanfaatan	41
BAB V KESIMPULAN DAN SARAN.....	43
5.1 Kesimpulan	43
5.2 Saran.....	44
DAFTAR PUSTAKA	45
LAMPIRAN.....	50



DAFTAR GAMBAR

Gambar 1 Proses pengambilan <i>hand specimen</i> batuan pada daerah penelitian	16
Gambar 2 Pengukuran ketebalan dan kedudukan lapisan singkapan.....	16
Gambar 3 Singkapan batuan riolit porfiri (A) dan tufa hijau (B)	17
Gambar 4 Sampel sayatan tipis hasil preparasi batuan	18
Gambar 5 Penggerusan sampel menggunakan <i>agate mortar</i>	19
Gambar 6 Proses pengayakan sampel.....	19
Gambar 7 Analisis mikroskop polarisasi refraksi	20
Gambar 8 Alat XRD.....	21
Gambar 9 Bagan alir penelitian.....	23
Gambar 10 Urutan stratigrafi Formasi Camba yang membawa zeolit	24
Gambar 11 Pengukuran <i>strike/dip</i> didaerah penelitian	25
Gambar 12 Profil litologi dan <i>hand specimen</i> pada singkapan daerah penelitian ..	25
Gambar 13 <i>Photomicrograph</i> sayatan tipis riolit porfiri MZ 1D1.....	26
Gambar 14 <i>Photomicrograph</i> sayatan tipis riolit porfiri MZ 1D2.....	27
Gambar 15 <i>Photomicrograph</i> sayatan tipis tufa hijau MZ 2A	28
Gambar 16 Difaktogram sampel riolit porfiri MZ 1D1	29
Gambar 17 Difaktogram sampel riolit porfiri MZ 1D2	30
Gambar 18 Difaktogram sampel riolit porfiri MZ 1D3	31
Gambar 19 Difaktogram sampel riolit porfiri MZ 1D4	32
Gambar 20 Difaktogram sampel tufa hijau MZ 2A	33
Gambar 21 Plot sampel batuan vulkanik dalam diagram SiO ₂ -K ₂ O.....	36
Gambar 22 Diagram laba-laba dari <i>trace elements</i>	37
Gambar 23 Diagram <i>rare earth elements</i> (REE)	37
Gambar 24 Plot diagram triangular Na - (Ca + Mg) – K Zeolit.....	38



DAFTAR TABEL

Tabel 1 Formula umum dari zeolit.....	9
Tabel 2 Klasifikasi zeolit berdasarkan kerangka kimianya.....	10
Tabel 3 Komposisi mineral hasil analisis XRD (MZ 1D1).....	29
Tabel 4 Komposisi mineral hasil analisis XRD (MZ 1D2).....	30
Tabel 5 Komposisi mineral hasil analisis XRD (MZ 1D3).....	31
Tabel 6 Komposisi mineral hasil analisis XRD (MZ 1D4).....	32
Tabel 7 Komposisi mineral hasil analisis XRD (MZ 2A).....	33
Tabel 8 Hasil komposisi kimia.....	34



DAFTAR SINGKATAN DAN ARTI SIMBOL

Lambang/Singkatan	Arti dan Keterangan
XRD	<i>X-ray diffraction</i>
XRF	<i>X-ray fluorescence spectrometry</i>
ICP-OES	<i>Inductively Coupled Plasma-Optical Emission Spectrometry</i>
REE	<i>Rare earth elements</i>
ICP-MS	<i>Inductively Coupled Plasma Mass Spectrometry</i>
LILE	<i>large ion lithophile elements</i>
HFSE	<i>high field strength elements</i>
MMT	Media tumbuh tanaman
Å	<i>ångström</i> (0,1 nanometer)
ppm	Part per Million
ppb	Part per Billion
meq	Mili ekuivalen



DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1 Peta Geologi Daerah Penelitian.....	51
Lampiran 2 Hasil petrografi MZ 1D1, MZ 1D2, dan MZ 2A.....	53
Lampiran 3 Hasil analisis XRD menggunakan <i>software</i> Impact Match! 4	60



KATA PENGANTAR

Puji syukur kehadiran Tuhan Yang Maha Esa untuk segala berkat-Nya sehingga penulis senantiasa diberikan kekuatan serta kesehatan, oleh karunia-Nya juga penulis diberi kesempatan menyusun skripsi dengan judul studi “Genetik Dan Potensi Pemanfaatan Mineral Zeolit Daerah Moncongloe, Kabupaten Maros, Provinsi Sulawesi Selatan Berdasarkan Karakteristik Mineralogi Dan Kimianya”. Skripsi ini dilaksanakan di Laboratorium Eksplorasi Mineral Departemen Teknik Pertambangan Universitas Hasanuddin.

Penulis menyampaikan Terima kasih sebesar-besarnya kepada seluruh pihak yang telah membantu dalam menyelesaikan skripsi tugas akhir ini, terutama kepada kedua orang tua yang terus mendoakan serta memberikan semangat, kepada Bapak Dr. Ir. Irzal Nur, MT. selaku dosen pembimbing yang telah memberikan arahan dan perbaikan selama penyusunan skripsi ini, kepada teman-teman IGNEOUZ 2019 (Mahasiswa Teknik Pertambangan Universitas Hasanuddin angkatan 2019) dan Fiona Adesi Saragih yang selalu membantu disaat mengerjakan skripsi ini, serta kepada seluruh pihak yang tidak sempat disebutkan. Penulis sadar tanpa bantuan pihak-pihak tersebut, penulis tidak akan mampu menyelesaikan skripsi ini.

Pembuatan Skripsi akhir ini pun masih jauh dari kesempurnaan. Oleh karena itu, jika ada saran dan kritik yang sifatnya membangun demi karya tulis yang lebih baik kedepannya mohon disampaikan kepada penulis. Akhir kata, semoga skripsi ini dapat bermanfaat dan dipergunakan sebagaimana mestinya.

Gowa, 09 Agustus 2024

Juan Daniel Tambunan



BAB I PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Zeolit alam adalah salah satu jenis bahan galian nonlogam yang merupakan kelompok berkerangka alumino-silikat yang terbentuk di alam dan memiliki kapasitas tukar kation dan absorpsi tinggi serta bersifat hidrous dan dehidrasi. Kerangka dasar zeolit yaitu AlO_2 dan SiO_2 dengan struktur tetrahedral serta rumus empiris $M^{2/n} Al_2O_3 \cdot x(SiO_2) \cdot yH_2O$ dengan $M^{2/n}$ adalah sumber kation yang bergerak bebas sehingga dapat dipertukarkan dengan kation lain baik sebagian maupun sempurna. Pada umumnya, zeolit ditemukan dalam *vuggy amigdaloidal* pada batuan masif seperti *basalt* dan juga pada tuf palagonitik yang berasal dari alterasi gelas vulkanik dengan sistem hidrologi tertutup. Diterangkan juga bahwa zeolit sering ditemukan sebagai representasi batuan vulkanogenik seperti: *leucite*, *sodalite*, *noselite*, *hauyne*, sedangkan *levyne*, *thomsonite*, *gismondine*, *chabazite*, dan *phillipsite* ditemukan pada zeolit yang memiliki densitas struktur yang lebih rendah. Sedangkan jenis zeolit yang umum dijumpai di Indonesia diantaranya adalah: *analcime*, *chabazite*, *clinoptilolite*, *heulandite*, *erionite*, *ferrierite*, *laumontite*, *mordenite* dan *phillipsite* (Ginting dkk., 2007; Kusdarto, 2008; Lengauer *et al.*, 2009; Muzwar dkk., 2018; Setiawan dkk., 2020).

Faktor utama pembentukan mineral zeolit (zeolitisasi) didasarkan pada temperatur serta zona pembentukan. Zeolitisasi pada umumnya terjadi pada gelas vulkanik dengan suhu antara 41-300°C. Pembagian tersebut ditulis oleh Marantos *et al.*, (2012) yaitu: zeolit primer magmatik, zeolit yang dibentuk oleh proses kontak metamorfosis, zeolit hidrotermal, zeolit tipe *geoautoclave*, serta diagenesis *burial* dan metamorfosis.

Zeolit alam memiliki kemampuan penyerapan (*absorbents*) dan difusi reaktan karena mempunyai saluran dan rongga yang dapat berguna sebagai penyaring ion dan katalis, memiliki stabilitas *thermal* yang tinggi sampai temperatur 800-900°C

is *modernite* sehingga sering digunakan dalam industri kimia, kemampuan ion (*ion exchangers*) juga sangat bermanfaat menjadikan zeolit sebagai UTJ (Unsur Tanah Jarang) atau unsur pada grup *lanthanoids* dengan



tambahan yttrium dan skandium yang dikelompokkan pada unsur *light rare earth elements*, serta seleksi (*molecular sieves*) terhadap molekul yang ingin diserap. Mineral zeolit tipe *phillipsite* juga sangat memiliki manfaat dan sudah diplikasikan dalam dunia medis. Mineral *phillipsite* adalah salah satu kelompok zeolit yang secara struktural terdiri dari unit aluminium-silikat terhidrasi. *Phillipsite* digabungkan dengan Beta-siklodekstrin (β -CD) digunakan sebagai terapi untuk pengobatan kanker. (Payra and Dutta., 2003; Ginting dkk., 2007; Prasetyo dkk., 2012; Altoom *et al.*, 2022).

Penelitian mengenai zeolit terus mengalami kemajuan pesat di berbagai bidang, termasuk sintesis, karakterisasi, serta pengaplikasiannya. Kebutuhan zeolit semakin meningkat, sementara zeolit yang berkualitas baik sudah semakin berkurang. Begitupula dengan cadangan zeolit di Indonesia, pemahaman geologi mengenai keterdapatannya zeolit dapat menunjang penemuan endapan zeolit baru di daerah lainnya di Indonesia. Dengan ditemukannya endapan zeolit yang baru, maka akan membantu membangun industri, ekonomi kreatif, dan menyerap tenaga kerja (Setiawan dkk., 2020). Di daerah Moncongloe, Kabupaten Maros, Provinsi Sulawesi Selatan yang berada pada daerah Formasi Camba (Sukanto dan Supriatna, 1982), memiliki singkapan endapan zeolit (Sufriadin dkk., 2022) yang tersingkap akibat adanya penambangan lokal oleh masyarakat setempat dan dipergunakan sebagai bahan timbunan. Endapan zeolit di daerah tersebut belum dilaporkan mengenai *genesis*, jenis, dan pemanfaatannya.

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang tersebut diatas, maka rumusan masalah dari penelitian ini adalah:

1. Bagaimana karakteristik mineralogi dan kimia endapan zeolit di daerah penelitian?
 2. Zeolit jenis apa yang terdapat di daerah penelitian?
 3. Bagaimana proses pembentukan (*genesis*) endapan zeolit di daerah penelitian?
- Bagaimana potensi pemanfaatan zeolit di daerah penelitian berdasarkan karakteristik mineralogi dan kimianya?



1.3 Tujuan Penelitian

Tujuan dilakukannya penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Menganalisis karakteristik mineralogi dan kimia endapan zeolit di daerah penelitian.
2. Menginterpretasi jenis zeolit yang berada di daerah penelitian.
3. Menganalisis genesis endapan zeolit di daerah penelitian.
4. Merekomendasikan potensi pemanfaatan zeolit di daerah penelitian berdasarkan karakteristik mineralogi dan kimianya.

1.4 Manfaat Penelitian

Penelitian yang akan dilakukan diharapkan menambahkan wawasan mengenai endapan zeolit yang terindikasi dalam sampel batuan tuf dan riolit di Kabupaten Maros. Pengetahuan mengenai komposisi kimia dan mineral pada endapan diperlukan guna mengetahui jenis mineral zeolit. Data tersebut akan menjadi patokan guna pengklasifikasian manfaat sampel endapan zeolit Maros berdasarkan karakteristik mineral dan kimianya, sehingga dapat memberikan informasi yang sesuai mengenai pemanfaatan yang semestinya terhadap endapan zeolit pada daerah penelitian.

1.5 Ruang Lingkup

Ruang lingkup penelitian ini mencakup: Studi tentang batuan pembawa (*host rocks*) mineral zeolit, karakteristik mineralogi dan kimia zeolit, jenis mineral zeolit, genesisnya, dan potensi pemanfaatannya. Analisis laboratorium yang dilakukan meliputi analisis mineralogi (petrografi dan XRD) serta analisis kimia (XRF, ICP-OES dan ICP-MS).



BAB II TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Pengertian Zeolit

Zeolit alam memiliki struktur kerangka yang khas yang ditandai dengan struktur rantai dan kerangka diantara atom akosigen serta unsur penyusunnya AlO_2 dan SiO_2 dengan struktur tetrahedral serta rumus empiris $M^{2/n} Al_2O_3 \cdot x(SiO_2) \cdot yH_2O$, dimana M adalah ion alkali atau alkali tanah, n valensi kation, x suatu nilai dari 2-10, dan y adalah suatu nilai dari 2-17. $M^{2/n}$ sendiri adalah sumber kation yang bergerak bebas sehingga dapat dipertukarkan dengan kation lain baik sebagian maupun sempurna. Selama hampir 200 tahun sejak penemuannya pada tahun 1756, para ahli geologi menganggap mineral zeolit muncul sebagai kristal yang cukup besar di dalam lubang dan rongga basal dan formasi batuan lainnya. Kemudian pada akhir tahun 1950-an, lapisan besar sedimen kaya zeolit, yang dibentuk oleh perubahan abu vulkanik (kaca) di danau dan perairan laut, ditemukan di Amerika Serikat bagian barat dan tempat lain di dunia ini adalah periode yang sama ketika bisnis zeolit sintetis mulai berkembang, tetapi jelas bahwa bahan-bahan alami yang murah ini memiliki sifat yang serupa dan sejak saat itu telah banyak upaya yang dilakukan untuk mengembangkan aplikasi untuk bahan-bahan tersebut. Beberapa aplikasi yang terkenal adalah dalam perbaikan tanah di bidang agronomi dan hortikultur, kotoran hewan peliharaan, penyaring amonia, dan lain-lain. Di masa lalu zeolit digunakan dalam konstruksi selama zaman Romawi dan saat ini mereka digunakan sebagai substrat hidroponik (zeoponik) untuk menanam tanaman dalam misi luar angkasa. Mungkin saat ini zeolit sangat banyak digunakan dalam bidang pertanian dan perlindungan lingkungan. (Ginting dkk., 2007; Kusdarto, 2008; Borsatto *and* Inglezakis, 2012; Muzwar dkk., 2018; Mormone *and* Piochi, 2020).

Zeolit secara umum merupakan material kristalin yang terbentuk di alam, berkomposisi hidro alumino-silikat dengan ikatan alkali atau alkali tanah lemah, serta memiliki struktur tetrahedral. Tufa zeolit telah digunakan sebagai pahatan dan

atau dimensi untuk bangunan sejak sekitar 2.800 tahun yang lalu. Bangsa-bangsa memanfaatkan zeolit untuk produksi semen pozzolan. Namun, zeolit kasi sebagai kelompok mineral tepat 256 tahun yang lalu, pada tahun



1756, sejak saat itu, 18 zeolit yang terbentuk secara alami ditemukan pada tahun 1825, 7 lainnya pada sisa abad ke-19 dan 25 lainnya pada abad ke-20 (Setiawan dkk., 2020; Borsatto *and* Inglezakis, 2012).

Zeolit mempunyai 3 (tiga) karakteristik kimia yang khas yang sangat berhubungan dengan kegunaannya sebagai bahan galian industri, yaitu:

- Bersifat *absorbents*, yaitu dapat menyerap molekul-molekul tertentu.
- Bersifat *ion exchangers*, yaitu dapat melakukan tukar-menukar ion.
- Bersifat *molecular sieves*, yaitu dapat melakukan pengayaan atau seleksi terhadap molekul-molekul yang ingin diserapnya (Payra *and* Dutta, 2003).

Kerangka dasar struktur zeolit terdiri dari unit tetrahedral AlO_2 dan SiO_2 yang saling berhubungan melalui atom O. Komponen pertama Mn^+ adalah sumber kation yang dapat bergerak bebas dan dapat dipertukarkan secara sebagian atau secara sempurna oleh kation lain. Secara geologi, zeolit ditemukan dalam batuan tufa yang terbentuk dari hasil sedimentasi, debu vulkanik yang telah mengalami proses alterasi. Ada empat proses sebagai gambaran mula jadi zeolit, yaitu proses sedimentasi debu vulkanik pada lingkungan danau yang bersifat alkali, proses alterasi, proses diagenesis dan proses hidrotermal (Ginting dkk., 2007; Kusdarto, 2008).

2.2 Pembentukan Mineral Zeolit

Pembentukan mineral zeolit disebut juga dengan zeolitisasi. Berbagai spesies zeolit dapat terbentuk melalui aktivitas hidrotermal yang terkait dengan berbagai jenis batuan beku. Jenis endapan ini terutama mencakup perubahan di lapangan panas bumi aktif dan perubahan yang terkait dengan pengendapan mineral. Zeolit adalah mineral ubahan yang umum ditemukan di daerah panas bumi aktif dan fosil dengan gradien panas bumi yang aktif. Semua zeolit stabil pada suhu lebih rendah dari $230^\circ C$, kecuali *analcime* dan *wairakite* yang stabil pada suhu hingga $300^\circ C$. Sebagian besar zeolit alami terbentuk sebagai hasil dari aktivitas vulkanik. Ketika gunung berapi meletus, magma menerobos kerak bumi dan mengalir keluar dalam

ntuk lava yang disertai dengan gas, debu, dan abu tebal. Gunung berapi berada di mana lempeng tektonik *divergen* atau *konvergen*, dalam kasus-nana lokasi tersebut adalah di sebuah pulau atau di dekat lautan, lava dan



abu yang dikeluarkan sering mengalir ke laut. Setelah mencapai laut, lahar panas, air dan garam dari laut mengalami reaksi yang selama ribuan tahun, telah menyebabkan produksi padatan kristal yang dikenal sebagai zeolit. Zeolitisasi adalah hal yang umum terjadi dan umumnya berkembang pada komponen gelas. Meskipun zonasi mineralogi karena gradien suhu merupakan karakteristik untuk zeolit hidrotermal, hal ini mungkin tidak terdefinisi dengan baik di lapangan dengan gradien panas bumi yang tinggi (Marantos *et al.*, 2012; Moshoeshoe *et al.*, 2017; Cicerali *et al.*, 2020).

1. Zeolit primer magmatik

Dalam beberapa kasus yang jarang terjadi, terdapat indikasi bahwa *analcime* dapat mengkristal pada tahap terakhir kristalisasi batuan magmatik. Namun, penentuan asal-usul primer atau sekunder untuk *analcime* agak sulit, oleh karena itu pengakuan *analcime* yang berasal dari magmatik masih tetap kontroversial (Marantos *et al.*, 2012).

2. Zeolit yang dibentuk oleh proses kontak metamorfosis

Pada rangkaian gunung berapi-sedimen, zona alterasi konsentris yang mengandung mineral zeolit dapat terbentuk di sekitar tubuh intrusi, sebagai hasil dari metamorfisme kontak. Sebuah kasus tipikal dari jenis alterasi ini telah dijelaskan di Pegunungan Tanzawa, Jepang. Di daerah ini, zona-zona alterasi zeolit telah berkembang kurang lebih secara konsentris di sekitar tubuh batuan beku diorit kuarsa. *Laumontite* terbentuk di bagian paling dalam dan *clinoptilolite* dan *stilbite* di zona alterasi luar (Marantos *et al.*, 2012).

3. Zeolit hidrotermal

Berbagai spesies zeolit dapat terbentuk melalui aktivitas hidrotermal yang terkait dengan berbagai jenis batuan beku. Jenis endapan ini terutama mencakup alterasi di area panas bumi aktif dan yang terkait dengan pengendapan mineral. Zeolit adalah mineral ubahan yang umum ditemukan di areal panas bumi aktif dan fosil dengan gradien panas bumi yang tinggi. Contoh umum adalah area *geothermal* di *Yellowstone Park* di Amerika

ikat, berbagai areal panas bumi di Islandia, areal panas bumi di Warakei, Selandia Baru dan Onikobe di Jepang, dan lain-lain. Pembentukan dan distribusi berbagai mineral zeolit di daerah *geothermal* dipengaruhi terutama



oleh oleh suhu, yang mengontrol tingkat alterasi dan distribusi zeolit yang berbeda. Dengan demikian, di areal panas bumi Islandia, semua zeolit stabil pada suhu lebih rendah dari 230°C, kecuali *analcime* dan *wairakite* yang stabil pada suhu hingga 300°C. Meskipun zonasi mineralogi karena gradien suhu merupakan karakteristik untuk zeolit hidrotermal, Zeolit mungkin lebih sulit terdeteksi pada daerah panas bumi yang tinggi. Sebagai contoh, Zeolit pada zonasi di area panas bumi di Islandia, dengan panas bumi 150°C/Km dapat lebih mudah dideteksi dibandingkan dengan daerah panas bumi lebih tinggi dari 200°C/Km. Selain temperatur, komposisi *host rocks*, permeabilitas dan kimia fluida panas bumi juga merupakan faktor penting yang menentukan perubahan dan distribusi zeolit di area panas bumi. Mineral zeolit dapat terbentuk di sekitar endapan bijih melalui proses alterasi larutan hidrotermal. Contoh khas dari lingkungan pembentukan ini adalah endapan sulfida polimetalik tipe Kuroko, yang terbentuk dari aktivitas hidrotermal yang terkait dengan *Black Smoker* di dasar laut. Pada jenis endapan ini, pola perubahannya cukup kompleks karena dihasilkan oleh aksi gabungan antara alterasi hidrotermal bawah laut dan diagenesis suhu rendah. Pada endapan tipe Kuroko, yang telah diteliti pada batuan *acidic tuffs*, zona hidrotermal *analcime* dan *Na-mordenite* telah ditumpangkan pada zona pengendapan dan diagenesis *clinoptilolite-mordenite* (Marantos *et al.*, 2012).

4. Zeolit tipe *geoautoclave*

Untuk menginterpretasikan alterasi zeolit dari tufa aliran abu laut, di Rhodope Timur, Bulgaria, Aleksiev dan Djourova mengusulkan sebuah model genetik yang disebut sebagai *geoautoclave*. Menurut model ini, sejumlah besar *ignimbrite* yang meletus dalam siklus pendek berturut-turut diendapkan di lingkungan laut yang dangkal. Endapan aliran piroklastik panas di perairan dangkal menghasilkan energi panas dalam jumlah besar dalam sistem alterasi. Karena sifat isolasi batu apung dan gelas vulkanik, sebuah sistem seperti *autoclave* dihasilkan, yang mendukung perubahan gelas vulkanik menjadi

lit pada suhu yang relatif tinggi. Model ini mirip dengan yang diusulkan oleh Lenzi dan Passaglia untuk pembentukan zeolit di Italia tengah dan dianggap bahwa suhu gelas vulkanik dan laju pendinginan merupakan



faktor penting yang mengendalikan zeolitisasi tufa vulkanik. Model *geoautoclave* telah diterima oleh beberapa penulis untuk menginterpretasikan pembentukan zeolit pada *ignimbrite*. Namun demikian, lingkungan *geoautoclave* hampir tidak mungkin terjadi di alam. Di daerah vulkanik, keberadaan tubuh magmatik di kedalaman dangkal, serta batuan vulkanik itu sendiri dapat mendorong pembentukan larutan hidrotermal suhu rendah, yang mendukung zeolitisasi batuan vulkaniklastik (Marantos *et al.*, 2012).

5. Diagenesis *burial* dan *metamorphosis*

Pada urutan sedimen yang tebal, batuan vulkaniklastik, yang mengalami kondisi diagenetik atau diagenetik dan metamorf, sering mengalami perubahan dan gelas vulkanik diubah menjadi zeolit. Karena penguburan yang progresif pada area yang jauh lebih dalam, susunan zonal vertikal dari kumpulan mineral alterasi berkembang, yang dikendalikan terutama oleh gradien termal. Contoh umum dari jenis endapan zeolit ini pertama kali dideskripsikan pada endapan Trias di Selandia Baru. Selain itu, endapan zeolit yang telah dipelajari dengan baik dari tipe diagenetik penguburan tersebar luas di wilayah tufa hijau di Jepang. Dengan bertambahnya kedalaman, zona alterasi berikut ini teramati, zona I yang dicirikan oleh alterasi parsial gelas menjadi smektit dan silika opal dan tidak adanya zeolit, zona II yang didominasi oleh keberadaan alkali *clinoptilolite* dan alkali mordenit, zona III yang dicirikan oleh transformasi *clinoptilolite-mordenite* menjadi *analcime* dan *laumontite* pada bagian bawahnya dan zona IV yang dicirikan oleh transformasi *analcime* menjadi albit (Marantos *et al.*, 2012).

Susunan zona yang disebutkan di atas dikontrol terutama oleh suhu. Seperti yang ditunjukkan oleh pengukuran suhu di lubang bor di ladang minyak Jepang, transformasi gelas vulkanik menjadi alkali-zeolit pada batas antara zona I dan II terjadi dengan suhu 41-50°C, konversi alkali zeolit, *clinoptilolite* dan *mordenite*, menjadi *analcime* pada batas antara zona II dan III dengan suhu 84-91°C, dan transformasi *analcime* menjadi *laumontite* pada batas antara zona III dan IV terjadi pada 120 - 124°C. Perubahan juga dipengaruhi oleh kimia fluida pori. fluida dengan salinitas dan alkalinitas yang tinggi dapat menurunkan suhu transisi



zeolit gelas ke alkali hingga 21°C dan transisi *clinoptilolite/mordenite* hingga 37°C (Marantos *et al.*, 2012).

2.3 Jenis-Jenis Zeolit

Zeolit adalah satu kelompok berkerangka alumino-silikat yang terjadi di alam dengan kapasitas tukar kation yang tinggi, adsorpsi tinggi dan bersifat hidrasi-dehidrasi. Telah diketahui sekitar 50 spesies zeolit alam dan 253 zeolit sintetis yang berbeda dari kelompok mineral ini, tetapi hanya sembilan mineral zeolit alam yang sering dijumpai, seperti *analcime*, *chabazite*, *clinoptilolite*, *heulandite*, *erionite*, *ferrierite*, *laumontite*, *mordenite* dan *phillipsite*. Untuk Mineral zeolit utama yang ditemukan tufa adalah *clinoptilolite*, juga *analcime* dan *mordenite* dengan kadar yang lebih rendah. Struktur dari setiap mineral ini berbeda tetapi semua mempunyai lorong terbuka yang besar dalam struktur kristal yang memungkinkan satu lubang besar untuk penyerapan dan bertukar kation, mengakibatkan zeolit sangat efektif sebagai penukar kation (Kusdarto, 2008; Ciceralli *et al.*, 2020; Koda *et al.*, 2023). Berikut merupakan tabel klafisikasi zeolit (Tabel 1) berdasarkan komposisi kimianya menurut Ulmanu (2012).

Tabel 1 Formula umum dari zeolit

Zeolit	Komposisi kimia
<i>Analcime</i>	$\text{Na}_{16}(\text{Al}_{16}\text{Si}_{32}\text{O}_{96}) \cdot 16\text{H}_2\text{O}$
<i>Chabazite</i>	$(\text{Na}_2\text{Ca})_6(\text{Al}_{12}\text{Si}_{24}\text{O}_{72}) \cdot 40\text{H}_2\text{O}$
<i>Clinoptilolite</i>	$(\text{Na}_4\text{K}_4)(\text{Al}_8\text{Si}_{40}\text{O}_{96}) \cdot 24\text{H}_2\text{O}$
<i>Erionite</i>	$(\text{Na}_2\text{Ca}_6\text{K})(\text{Al}_9\text{Si}_{27}\text{O}_{27}) \cdot 27\text{H}_2\text{O}$
<i>Ferrierite</i>	$(\text{Na}_2\text{Mg}_2)(\text{Al}_6\text{Si}_{30}\text{O}_{70}) \cdot 18\text{H}_2\text{O}$
<i>Heulandite</i>	$\text{Ca}_4(\text{Al}_8\text{Si}_{28}\text{O}_{72}) \cdot 24\text{H}_2\text{O}$
<i>Laumontite</i>	$\text{Ca}_4(\text{Al}_8\text{Si}_{16}\text{O}_{48}) \cdot 16\text{H}_2\text{O}$
<i>Mordenite</i>	$\text{Na}_8(\text{Al}_8\text{Si}_{40}\text{O}_{96}) \cdot 24\text{H}_2\text{O}$
<i>Phillipsite</i>	$(\text{Na}_2\text{K})_{10}(\text{Al}_{10}\text{Si}_{22}\text{O}_{62})_{20}\text{H}_2\text{O}$

Sumber: Ulmanu, 2012.



spesies zeolit dengan kerangka berbeda mungkin saja ada karena fenomena *-order*. Semua himpunan zeolit dengan kerangka yang sama disebut genus. Meskipun komposisi kimianya serupa, setiap spesies memiliki

struktur kristal yang unik dan dengan demikian memiliki karakteristik fisik dan kimianya sendiri (Tabel 2). Klasifikasi Breck didasarkan pada struktur kristal zeolit dalam tujuh kelompok. Setiap kelompok zeolit memiliki struktur sub-unit yang sama yaitu susunan tetrahedra (AlSi) O₄ yang spesifik. Mineral zeolit yang terkristalisasi dengan baik dapat memiliki komposisi kimia yang cukup berbeda, beberapa mineral zeolit dapat memiliki komposisi kimia yang hampir sama. Sifat ruang kosong dan saluran yang saling berhubungan pada zeolit yang terdehidrasi penting dalam penentuan sifat fisik dan kimia. Tiga jenis sistem saluran telah diidentifikasi: sistem satu dimensi, sistem dua dimensi dan dua jenis sistem saluran berpotongan tiga dimensi (Gottardi *and* Galli, 1985; Ulmanu, 2012).

Tabel 2 Klasifikasi zeolit berdasarkan kerangka kimianya

Kelompok 1 (<i>simple 4-ring, S₄R</i>)	Kelompok 2 (<i>simple 6-Scolecite ring, S₆R</i>)	kelompok 3 (<i>double 4-ring, D₄R</i>)	kelompok 4 (<i>double 6-ring, D₆R</i>)	Kelompok 5 (<i>a unit of 5 tetrahedrons, T₅O₁₀</i>)	Group 6 (<i>a unit of 8 tetrahedrons, T₈O₁₆</i>)	Group 7 (<i>a unit of 10 tetrahedrons, T₁₀O₂₀</i>)
<i>Analcime</i>	<i>Erionite</i>	<i>A-Type Zeolites</i>	<i>Faujasite</i>	<i>Natrolite</i>	<i>Mordenite</i>	<i>Heulandite</i>
<i>Harmotome</i>	<i>Offretite</i>		<i>Chabazite</i>	<i>Scolecite</i>	<i>Dachiardite</i>	<i>Clinoptilolite</i>
<i>Phillipsite</i>	<i>Levinite</i>		<i>Gmelinite</i>	<i>Mesolite</i>	<i>Ferrierite</i>	<i>Stibite</i>
<i>Gismondine</i>	<i>Sodalite</i>			<i>Thomsonite</i>	<i>Epistibite</i>	<i>Brewsterite</i>
<i>Paulingite</i>				<i>Gonnardite</i>	<i>Bikitaite</i>	
<i>Laumontite</i>				<i>Edingtonite</i>		

Sumber: Ulmanu, 2012.

Karakter air yang termasuk dalam kristal zeolit terhidrasi bervariasi, karena dapat mencakup pengelompokan molekul atau *boding* langsung antara kation dan kerangka molekul oksigen. Volume antar kristal yang dapat ditempati oleh air dapat mencapai 50% dari volume kristal. Kapasitas zeolit untuk adsorpsi umumnya terkait dengan ruang bebas atau volume pori yang ditentukan oleh jumlah air yang terkandung ketika terhidrasi penuh. Fungsi adsorpsi dan pertukaran ion pada struktur kristal zeolit terhidrasi dan dehidrasi terkait dengan karakteristik pembukaan saluran. Bukaan dibatasi oleh atom oksigen dari tetrahedral yang terhubung. Ukuran pembatas bukaan diatur oleh ukuran cincin, yang meliputi 6, 8, 2 atom oksigen, cincin zeolit sering kali terdiri dari 4, 5, 6, 8, 10, atau 12 on, kerangka dengan cincin 14, 18, dan 20 tetrahedron juga telah



dilaporkan, sementara 3, 7, atau kerangka 9 cincin jarang terjadi (Ulmanu, 2012; Moshoeshoe *et al.*, 2017).

2.4 Pemanfaatan Zeolit

Zeolit telah banyak digunakan dalam dunia industri petrokimia dan komersial diantaranya: sebagai katalis, saringan molekuler, adsorben, dalam industri wewangian, farmasi, angrokimia, dan pewarna (tekstil) (Nayak *et al.*, 2020).

Berikut ini merupakan uraian pemanfaat zeolit di dunia Industri:

1. Penjernih air limbah dan desalinasi air laut.

Zeolit tipe *phillipsite-chabazite* telah digunakan untuk penyaringan air limbah serta desalinasi air laut. Sebagai contoh penyerapan amonia (NH^+) dari air dilakukan dengan menggunakan uji kolom dengan rentang waktu 110 jam dan 80 liter dengan konsentrasi ammonia sebesar 5-120 mg/L yang menggunakan zeolit yang kaya akan *clinoptilolite (modernite minor)* mencapai 67-79%. Untuk desalinasi air laut zeolit salah satu zat pencemar air adalah ion klorida yang tidak dapat dikonsumsi, tetapi diperlukan modifikasi secara genetik dikarenakan memiliki kelemahan yaitu banyaknya pengotor seperti Na^+ , K^+ , Ca^{2+} , Mg^{2+} dan Fe^{2+} , sehingga zeolit alam dipreparasi secara kopresipitasi dengan menambahkan suatu basa. Penelitian lain mengungkapkan bahwa penggunaan zeolit tipe *phillipsite* dapat digunakan sebagai penghilang timbal dan *potassium* dari air laut akibat pengaruh penukar kation yang dimilikinya (Pansini *et al.*, 1995; Payra and Dutta, 2003; Hou *et al.*, 2013; Yunita dkk., 2019; Novembre *et al.*, 2022).

2. Pengontrol polusi air

Zeolit banyak digunakan dalam mengontrol polusi air, diantaranya: Menghilangkan amonium dari limbah cair pertanian dan air limbah hasil produksi, menghilangkan limbah radioaktif Cs dan Sr dari air limbah nuklir, penghilangan logam berat dari pertambangan dan limbah metalurgi dan limbah pembuangan sampah serta adsorben untuk tumpahan minyak dan rak (Holmes and Pecover, 1987).

nanfaatan zeolit dalam dunia pertanian, perkebunan dan peternakan raikan sebagai berikut:



a. Zeolit sebagai ameliorasi

Pemanfaatan zeolit dibidang pertanian dilakukan dengan tujuan sebagai bahan ameliorasi, dapat digunakan pada areal pertanian yang kering maupun basah. Kemampuan pertukaran kation yang tinggi menyebabkan zeolit dapat menyimpan air dan pupuk dan dilepas kembali saat tanaman membutuhkannya atau biasa disebut sebagai bahan penyedia lambat (*slow release agent*). Sifat fisik berongga zeolit juga memperbaiki struktur tanah karena meningkatkan pori-pori udara tanah. Dalam hal ini zeolit berfungsi sebagai pengatur pelepasan hara dan air juga diperlukan banyak zeolit dalam jumlah besar (Suwardi, 2002).

b. Zeolit sebagai bahan media tumbuh tanaman (*zeo-ponik*)

Penggunaan zeolit sebagai Media Tumbuh Tanaman (MMT) dilakukan dengan mencampur zeolit dengan gambut dan vermikulit sebagai hortikultura. Penggunaan media tersebut dapat digunakan sebagai media tanaman bibit sayuran dan bunga. MMT harus memiliki campuran yang dapat mendukung pertumbuhan tanaman, baik sifat fisik seperti ruang pori, daya pegang air, serta sifat kimia seperti pH antara 6,5 – 7 dengan cara menambahkan batu kapur, kalsit, dolomit, atau terak baja (Suwardi, 2002).

c. Penghilang bau dan penyerap nitrogen pupuk kompos

Pupuk kompos sejak dahulu digunakan sebagai bahan bagi kesuburan tanah yang mana mengandung beragam jenis unsur hara seperti tembaga, besi, seng, dan mangan. Munculnya pupuk kimia yang jauh lebih praktis dan efisien menyebabkan petani enggan menggunakan pupuk kompos, akan tetapi pupuk kimia memiliki kelemahan dimana tanah cenderung semakin keras dan mengalami penurunan pH. Rendahnya unsur hara dan lambatnya ketersediaan nitrogen yang tidak secepat pupuk urea serta mudahnya nitrogen menguap ke udara menyebabkan pupuk kompos mulai kurang diminati. Kemampuan menyerap zeolit nitrogen dapat mengurangi kehilangan nitrogen dan mengurangi bau busuk (Suwardi, 2002).



d. Nutrisi dan Kesehatan pada hewan dan ternak

Meningkatkan tingkat efisiensi pakan pada hewan ternak, mengurangi efek toksin dari nitrogen, mengurangi masalah usus pada hewan ternak dan suplemen untuk mengontrol *microbiota feses* pada anjing penjaga, serta meningkatkan produksi telur pada ayam. Penggunaan zeolit juga berfungsi agar kotoran hewan lebih kering sehingga meningkatkan kenyamanan pada hewan ternak (Superchi *et al.*, 2017).

Selain beberapa hal diatas zeolit juga telah digunakan dalam beberapa bidang lainnya seperti katalis minyak bumi dan industri petrokimia, konversi katalitik bahan kimia pada zeolit tinggi silika menjadi bahan bakar ber-oktan tinggi, sebagai media pendingin pada pembangkit listrik tenaga surya, penyaring air untuk tambak ikan/udang, bahan pengisi (*filler*) pada kertas, bahan keramik, pengobatan (*medical applications*), industri pesawat, penghilangan *thorium* (radioaktif) dari larutan karbonat, fotografi, gasifikasi batubara, industri perminyakan, ketahanan lingkungan (*environmental sustainability*), pengeringan dan permurnian gas, pemurnian air (*water purification*), pada bidang radioaktif, serta dapat diproduksi sebagai *pozzolan* menggunakan batuan tuf yang mengandung zeolit (Holmes and Pecover, 1987; Suwardi, 2002; Payra and Dutta, 2003; Erdem *et al.*, 2004; Misaelides *et al.*, 2014; Moshoeshoe *et al.*, 2017; Edris *et al.*, 2021).

